

# Über die Beeinflussung der kritischen Flimmerfrequenz durch verschieden weite Pupillen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät  
der Universität Basel

vorgelegt von

**Salome Speiser**

med. pract.

von Basel



Basel 1948

---

VERLAG VON S. KARGER IN BASEL

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von  
Prof. Dr. A. Brückner.

Tag der Promotion: 8. November 1947



Sonderdruck aus Ophthalmologica, Vol. 116, Nr. 6 (1948).

Dem Studium des Flimmerphänomens ist in neuerer Zeit vermehrtes Interesse entgegengebracht worden. Die Flimmermethode ist nicht nur in der Netzhautphysiologie wichtig, sondern auch in klinischer Hinsicht, wenn es sich um Prüfung der Netzhautfunktionen handelt. Sie bedeutet eine Untersuchung des Lichtsinnes, unabhängig von Sehschärfe und Farbenempfindlichkeit. Es lassen sich darum Störungen der Adaptationsfähigkeit der Netzhaut in weiterem Sinne nachweisen. Die Flimmermethode nimmt also gegenüber den sonst benützten klinischen Prüfungen (Visusbestimmung, Perimetrie u. a.) eine Sonderstellung ein.

Das Flimmerphänomen beruht auf der Tatsache der Reaktionsträgheit des Sehorgans: Ein Reiz braucht eine bestimmte «Latenzzeit», bis er empfunden wird, eine bestimmte Zeit, um das Maximum seiner Wirkung zu erreichen: Anklingen der Empfindung; die ausgelöste Empfindung überdauert den Reiz: Nachdauer der Empfindung. Sie alle unterliegen gewissen Gesetzmäßigkeiten: Die Latenzzeit ist am längsten bei Schwellenreizen und sinkt mit steigender Lichtintensität bis zu einem Minimalwert. Dieser bleibt konstant, auch wenn die Lichtintensität weiter steigt und die subjektive Helligkeit zunimmt (s. *Tschermak*). Das Anklingen der Empfindung erfolgt um so rascher, je stärker der Reiz ist. Entsprechend verhält sich die Nachdauer. Sie ist kürzer bei stärkerem Reiz. Dies gilt aber nur für «Moment»-Reize.

Dieses Verhalten erfährt gewisse Verschiebungen, je nach dem Adaptationszustand und der Netzhautregion. Dunkeladaptation verlängert im Netzhautzentrum Latenzzeit, Anklingen und Nachdauer, während in der Peripherie die Latenzzeit verkürzt wird, das Anklingen rascher erfolgt und die Nachdauer kürzer ist. Dies hängt wohl mit der fovealen Minderempfindlichkeit bei Dunkeladaptation zusammen.

Elektrophysiologische Untersuchungen von *Adrian* und *Matthews* am enukleierten Aalauge haben analoge Verhältnisse ergeben. Die Autoren haben festgestellt, daß die Reizung von Sinnesorganen mit adäquaten Reizen sich im zugehörigen Nerven in Form ähnlicher Impulse fortpflanzt wie die Reizung mit elektrischen Reizen. Eine Reizung der Retina mit verschieden intensivem Licht verändert die Größe der Potentialwellen nicht (Alles- oder Nichts-Gesetz), hingegen verkürzt sich bei stärkerem Reizlicht die Latenzperiode, ebenso nimmt die Anzahl der Galvanometerausschläge pro Zeiteinheit mit steigender Lichtintensität zu.

Folgen sich Lichtreize rhythmisch mit einer bestimmten Frequenz, so lassen sich von einer bestimmten Geschwindigkeit an die einzelnen Reize nicht mehr unterscheiden, man erhält eine stetige Empfindung (*Talbotsches Gesetz*), die dieselbe ist, wie wenn das Licht auf die gesamte Zeit der Einwirkung gleichmäßig verteilt wäre. Bei geringerer Frequenz der Einzelreize tritt Flimmern auf. Die Zahl der Lichtreize pro Sekunde, bei denen die Empfindung des Flimmerns in die stetige Empfindung übergeht, ist die sog. Verschmelzungs- oder Flimmerfrequenz (FIF).

Daß es sich dabei nicht um ein zerebrales oder psychisches Phänomen handelt, geht aus entsprechenden Resultaten von *Adrian* und *Matthews*, die am enukleierten Aalauge gewonnen wurden, hervor.

Reizdauer und Pause bilden zusammen eine Periodenlänge. Bei schwachem Licht muß bei gleichbleibender Reizdauer und Phasenlänge die Verschmelzung früher erfolgen als bei starkem Licht, da Anklingen und Nachdauer verlängert sind.

Zwischen FIF und Lichtintensität besteht innerhalb bestimmter Grenzen eine direkte logarithmische Beziehung:  $FIF = a \times \log I + b$  (*Ferry-Porter'sche Regel*), wobei  $a$  und  $b$  Konstanten sind, die je nach den Versuchsbedingungen variieren. Man erhält bei graphischer Darstellung der Versuchsergebnisse in einem Koordinatensystem eine mehr oder weniger steil verlaufende Gerade. Eine Vergrößerung des Beobachtungsfeldes, bzw. der Lichtquelle, bei gleichbleibender Intensität wirkt wie eine Verstärkung der Lichtintensität selbst: die FIF nimmt zu. Auch in diesem Falle läßt sich eine direkte logarithmische Beziehung zwischen Größe der Lichtquelle und der FIF feststellen.

Absolute Werte für die FIF sind nicht anzugeben. Sie schwanken, je nach den experimentellen Bedingungen, auch bestehen individuelle Unterschiede. Bei normalen Versuchspersonen werden aber auf beiden Augen gleiche Werte gefunden, und die Beziehungen zwischen Netzhautzentrum und -peripherie entsprechen einander. Die nasale Netzhauthälfte scheint eine höhere Empfindlichkeit zu haben als die temporale (*Hylkema, Roussel und Weekers*). Im Gegensatz zur Sehschärfe, die in der Fovea am höchsten ist

und schon bei  $10^\circ$  Exzentrizität auf ein Fünftel absinkt (*F. B. Hofmann*), steigt die FIF im helladaptierten Auge nach der Peripherie hin zunächst etwas an, um dann von ungefähr  $10^\circ$  an abzusinken (*Phillips*). Will man also weiter peripher als  $10^\circ$  gleiche Werte erhalten wie bei  $10^\circ$  oder im Zentrum, so muß das Beobachtungsfeld vergrößert oder die Lichtintensität verstärkt werden, je weiter peripher untersucht wird. *Phillips* erklärt das Ansteigen von der Fovea bis zu  $10^\circ$  und das Absinken gegen die Peripherie hin mit einem Antagonismus zwischen Rezeptorenempfindlichkeit und «räumlicher Summation», d. h. einer Erregungsverstärkung, bedingt durch Summation der Einzelreaktionen benachbarter gereizter Netzhautelemente: In der Fovea ist diese Summation am geringsten — auch wegen der einfacheren Refraktionsverhältnisse — und nimmt nach der Peripherie hin zu. Umgekehrt ist die Rezeptorenempfindlichkeit in der Fovea am größten und sinkt nach der Peripherie hin rasch ab. Der Punkt des geringsten Antagonismus zwischen diesen beiden Faktoren liegt ungefähr bei  $10^\circ$  Exzentrizität. Werden die FIF für ein kleines Beobachtungsfeld und diejenigen für ein größeres miteinander verglichen, so zeigt sich ein stärkeres peripheres Absinken der FIF für das kleinere Feld, da sich die räumliche Summation bei diesem weniger auswirkt, die Rezeptorenempfindlichkeit aber gleich stark abnimmt, der sog. Areaeffekt<sup>1</sup>. Die Flimmerkapazität eines Netzhautbezirkes muß demnach abhängig sein von der Zahl der erregten Neurone (*Granit*). Ein kleines Beobachtungsfeld kann aus den dargelegten Gründen nie die FIF eines größeren erreichen.

Die elektrophysiologischen Untersuchungen von *Creed* und *Granit* zeigen in ihren Resultaten mit diesen durch Empfindungen festgestellten Tatsachen eine weitgehende Parallelität: In der Netzhautperipherie wird durch Summation der Potentialwellen die Erregung verstärkt. Biologisch wichtig ist dies beim Dunkelsehen, da hier die Empfindlichkeit niedriger ist. Ebenso wichtig ist die Bedeutung im Zusammenhang mit den Refraktionsverhältnissen, denn nur das Zentrum kann genau «differenzieren». Eine Kompensation der niedrigen peripheren FIF durch Vergrößerung der Area bedeutet aber nicht unbedingt, daß damit die Peripherie bei gleicher FIF das gute Auflösungsvermögen des Zentrums gewinnt. Die FIF geht der Sehschärfe nicht parallel, es läßt sich sogar in pathologischen Fällen nachweisen, daß eine Dissoziation der beiden Funktionen möglich ist (*Granit*).

Die Unterschiede zwischen Netzhautzentrum und -peripherie im anatomi-

---

<sup>1</sup> Unter Areaeffekt versteht man die Zunahme der FIF mit dem Größerwerden des Feldes.

schen Bau und in der Funktion zeigen sich auch in ihrem verschiedenen Verhalten bei Hell-Dunkel-Adaptation.

Die Zapfen im Zentrum haben jeder seine eigene zentripetale Bahn. Impulse gelangen also in der Hauptsache isoliert zum Sehnerven. Von den Stäbchen fallen mehrere auf eine bipolare Zelle, und von diesen mehrere auf eine Ganglienzelle (*Cajal*). Die Unterschiede beruhen aber auch auf dem Vorhandensein von synaptischen Bahnen — laterale Konvergenz, im Gegensatz zu der eben erwähnten hinaufleitenden Konvergenz —, zurückzuführen auf die Anwesenheit der amakrinen Zellen. Daneben wird auch eine Verbindung zwischen den Körner- und Ganglienzellschichten angenommen, so daß eine ausgiebige gegenseitige Wechselwirkung zustande kommt — die sog. Interaktion.

Die Resultate der Prüfung der FIF lassen sich nicht ohne Schwierigkeiten mit der einfachen Duplizitätstheorie — die Zapfen als Hell-, die Stäbchen als Dunkelapparat — in Einklang bringen.

*Lythgoe* und *Tansley* haben Versuchsergebnisse für die FIF während des Anstiegs der Dunkeladaptation, bei vollständiger Dunkeladaptation und während erneuter Helladaptation mitgeteilt. Es ergab sich folgendes: Während der Dunkeladaptation fallen die FIF in der Fovea und bei starkem Licht in der Peripherie. Sie steigen in der Peripherie bei niedriger Lichtintensität. Bei vollständiger Dunkeladaptation steigen sie mit zunehmender Lichtintensität, am stärksten in der Fovea. Dieses erklären die Autoren damit, daß dabei die Dunkeladaptation bereits nicht mehr vollständig ist.

Auch *Enroth* und *Werner* haben festgestellt, daß während der Dunkeladaptation die FIF eine um so größere Tendenz haben zu sinken, je höher die Lichtintensität ist, und daß sie immer mehr zunehmen, je geringer die Lichtintensität ist und je weiter peripher untersucht wird.

Daß mit steigender Dunkeladaptation ein Absinken der FIF in den zentralen Netzhautpartien eintritt, läßt sich im Sinne der Duplizitätstheorie mit der Ausschaltung der Zapfen bei Dunkeladaptation erklären. Daß sie bei niedriger Lichtintensität und längerer Dunkeladaptation in der Peripherie steigen, kann als Stäbchenreaktion gedeutet werden.

Diese beiden Gegensätze zwischen Zapfen einerseits und Stäbchen andererseits bei Dunkeladaptation und geringer Lichtintensität lassen sich also in die Duplizitätstheorie einordnen. Hingegen treten Schwierigkeiten auf, wenn es sich darum handelt, das periphere Absinken während der Dunkeladaptation und bei hoher Intensität des Reizlichtes zu erklären. Diese Intensität ist für die Zapfen überschwellig. Die Zapfen müssen also unter diesen Bedingungen am Erregungsvorgang auch beteiligt sein. *Lythgoe* und *Tansley* denken zur Erklärung an eine eventuelle funktionelle Verschiedenheit von fovealen und peripheren Zapfen; sie ziehen auch in Betracht, daß bei höherer Intensität des Reizlichtes die Dunkeladaptation bereits unvollständig sein könnte, die Netzhaut also wie bei Helladaptation reagiere.

Eine ganz andere Erklärung gibt *Granit* in seinen elektrophysiologischen Untersuchungen: Die Duplizitätstheorie müsse dahin erweitert werden, daß die Stäbchen ein niedrigeres Erregungsniveau haben als die Zapfen, die ihnen

zugeordnete FIF sei relativ niedrig. Für die Zapfen nimmt er ein höheres Niveau an, das wenig abhängig vom Adaptationszustand sei. Das periphere Absinken der FIF bei Dunkeladaptation und hoher Lichtintensität müsse man sich so erklären, daß, wenn die Stäbchen sich in maximaler Aktivität befinden, sie imstande sind, mittels ihrer synaptischen Bahnen die Teilnahme der Zapfen an der Reaktion auf einen überschwelligenden Reiz zu verhindern. Als elektrophysiologisches Beispiel wird das Elektoretinogramm der Katze angeführt.

Die Zapfen und Stäbchen sind nach diesen Versuchsergebnissen am Menschenauge, das beide Elemente enthält, bei den verschiedenen Adaptationszuständen nicht getrennt wirksam, sondern sie bilden eine funktionelle Einheit durch eine gegenseitige Beeinflussung wohl über die synaptischen Bahnen.

### *Klinisches.*

Wie schon erwähnt, eignet sich die Bestimmung der Flimmerfrequenz auch als klinische Methode zur Untersuchung des Lichtsinnes, unabhängig von Sehschärfe und Farbensinn.

Im ganzen sind die Gesetzmäßigkeiten bei den Veränderungen der FIF in pathologischen Fällen noch wenig erforscht. Einige allgemeine Regeln lassen sich aber bereits aufstellen. Ganz generell hat eine Schädigung der Netzhaut, gleichgültig ob der Rezeptorenapparat, das II. oder III. Neuron betroffen sind, eine Senkung der FIF an der entsprechenden Netzhautstelle zur Folge. Es läßt sich aber sehr wohl denken, daß eine Schädigung des Rezeptorenapparates selektiv das Zapfen- oder das Stäbchensystem angreift. Dies müßte sich bei vergleichenden Untersuchungen mit Flimmerlicht bei Hell- und Dunkeladaptation zeigen.

Ajo und Teräskeli haben einige Fälle von angeborener totaler Farbenblindheit mit der Flimmermethode untersucht. Nach der Duplizitätstheorie fehlt beim total farbenblinden Auge der Zapfenapparat oder ist mangelhaft ausgebildet. Die Untersuchungen dieser Autoren zeigen nun, daß die Funktionen von Netzhautzentrum und -peripherie in bezug auf die FIF bei der totalen Achromasie nur geringe oder gar keine Unterschiede aufweisen, im Gegensatz zum Gesunden. Der Areaeffekt (s. S. 359 Anm. 1) ist beim total Farbenblinden kaum vorhanden. Dieses deuten die Autoren mit mangelhaft ausgebildeten synaptischen Bahnen in der Retina.

Von Teräskeli stammen ferner FIF-Bestimmungen bei amblyopischen schielenden und nichtschielenden Augen. Sie hat diese Methode benützt, um 1. bei schielenden amblyopischen Augen die Frage nach der primären Krankheit zu klären, 2. bei schielenden und nichtschielenden amblyopischen Augen die anatomische Grundlage der Amblyopie zu finden. Es ergaben sich dabei in den meisten Fällen deutliche Differenzen zwischen schwachsichtigem und gesundem Auge. Diese Unterschiede ließen sich in bestimmte Gruppen einteilen, jedoch waren keine eindeutigen Beziehungen zwischen Visus und FIF-Veränderung nachzuweisen.

Über die Alkoholtakamblyopie stammen Untersuchungen von Weekers und Roussel. Sie fanden eine Herabsetzung der FIF im Bereich zwischen Zen-

trum und blindem Fleck. Diese Zone nimmt mit steigender Schwere der Krankheit an Ausdehnung zu. Bei späterer Verbesserung des Visus ist eine Senkung der FIF noch nachweisbar, wenn mit andern Methoden kein sicherer Defekt mehr erkennbar ist.

*Hylkema* hat an verschiedenen Patienten die FIF geprüft und dabei gefunden: 1. Die FIF bei Netzhaut- und Gefäßleiden ist niedriger als bei gesunden Vergleichspersonen, der geringere Areaeffekt wird auf Schädigung der Synapsen zurückgeführt. 2. Bei Leitungsstörungen verschiedener Genese ist die FIF niedriger, der Areaeffekt jedoch unverändert, zum Teil sogar erhöht. 3. Bei totaler Farbenblindheit entsprechen die Resultate denjenigen von *Ajo* und *Teräskeli*. 4. Bei Glaukom wurde die FIF niedriger gefunden, der Areaeffekt war aber meist unverändert. Bei Dunkeladaptation ergaben sich gleiche Werte wie bei gesunden Personen. 5. Untersuchungen bei Amblyopie ergaben, wie bei *Teräskeli*, keine einheitlichen Resultate.

*Phillips* hat Fälle von chiasmalen und suprachiasmalen Leitungsstörungen in ihrer Beziehung zu den FIF der entsprechenden Netzhautbezirke geprüft. Sie sanken dabei am meisten in denjenigen Quadranten, die maximal affiziert waren. Für die suprachiasmalen Läsionen ließen sich nur allgemeine Angaben machen, da das Material zu klein war.

Zusammenfassend ist zu diesen klinischen Resultaten folgendes zu sagen:

1. Netzhautschädigungen haben Sinken der FIF zur Folge, das dem Sinken der Sehschärfe nicht parallel gehen muß. Der veränderte Areaeffekt deutet auf Störung der Synapsen.

2. Läsionen im Bereich des II. und III. Neurons senken die FIF ebenso wie Läsionen des Rezeptionsapparates selbst, hingegen ist der Areaeffekt im allgemeinen nicht verändert.

Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß nicht nur der Rezeptorenapparat allein am Flimmerphänomen beteiligt ist, sondern auch das II. und III. Neuron. Diese Folgerung deckt sich mit den Resultaten der elektrophysiologischen Untersuchungen von *Adrian* und *Matthews* sowie von *Granit* und seinen Mitarbeitern.

### *Eigene Versuche:*

Da die FIF eines Netzhautbezirkes von der Lichtintensität des Beobachtungsfeldes abhängt, ist die Möglichkeit gegeben, daß eine verschiedene Pupillenweite, die den Lichteintritt in das Auge beschränkt oder erhöht, von Einfluß sein kann. Dies würde nicht nur für die unbeeinflusste Pupille gelten, sondern auch für die medikamentös erweiterte oder verengerte.

Ferner wäre die Möglichkeit zu erwägen, ob nicht durch das angewendete Pharmakon eine Beeinflussung der Netzhautempfindlichkeit als solche selbst möglich wäre. *Heß* beobachtete, daß durch

pupillenverengernde Mittel die entoptische Sichtbarkeit der parafovealen Kapillarschlingen vermindert oder völlig aufgehoben wurde. Er bezog das auf eine Schädigung der Netzhautelemente durch das Pharmakon. Durch die Untersuchungen von *Arbenz* über den Verlauf von Blendungsnachbildern konnte jedoch nachgewiesen werden, daß diese Auffassung von *Heß* jedenfalls durch seine Ergebnisse nicht bestätigt wurde.

In der Literatur sind nur wenige Angaben darüber enthalten, wie sich die verschiedene Pupillenweite auf die FIF auswirkt. Deshalb ergab sich die Aufgabe, diesen Faktor an einer etwas größeren Zahl von Versuchspersonen, als dies bisher ausgeführt wurde, zu prüfen. Die Beantwortung dieser Frage erscheint im Hinblick auf die pathologischen Verhältnisse doch sehr wichtig, zumal bisher praktisch die Pupillenweite auch in pathologischen Fällen bei dieser Untersuchungsmethode keine Berücksichtigung gefunden hat.

### Methodik.

Die Bestimmung der Flimmerfrequenz geschah mittels einer *Talbotschen* Scheibe, die auf einem Farbenkreisel befestigt war. Sie bestand bei unseren Versuchen aus 5 konzentrischen, in weiße und schwarze Sektoren aufgeteilten Kreisringen, und zwar in der Weise, daß nach außen jeder Kreisring eine doppelte Anzahl Sektoren aufwies als der nächstinnere. Der äußerste der 5 Kreisringe besaß also 16 weiße und 16 schwarze Sektoren.

Die Breite der einzelnen Kreisringe betrug 2,2 cm. Im Zentrum der Scheibe fand sich ein weißer Kreis von 0,65 cm Radius. Dort wurde die Scheibe an der Achse des Kreisels montiert. Der Radius der ganzen Scheibe maß somit  $5 \times 2,2 \text{ cm} + 0,65 \text{ cm} = 11,65 \text{ cm}$ .

Die Scheibe rotierte hinter einem mit einer spaltförmigen Blende versehenen Schirm. Sie hatte die Länge des Radius der Scheibe und eine Breite von 2,2 cm. Mit einem Stativ wurde die Blende zur Vermeidung von störenden Schattenwirkungen möglichst nahe vor die *Talbotsche* Scheibe montiert. Der Schirm, in welchem die Blende sich befand, bestand aus schwarzem Karton. Ein mit dem Beobachtungsfeld gleich heller Karton ließ sich nicht beschaffen. Durch Kontrastwirkung im Sinne einer Aufhellung des Beobachtungsfeldes war eine Änderung in der FIF möglich. Da die Bedingungen aber konstant waren, konnte dieser Faktor vernachlässigt werden. Die Spaltform des beobachteten Feldes wirkte sich insofern nicht günstig aus, als dabei die Felder aller 5 Kreisringe nicht gleichmäßig — die Felder des äußersten ganz, diejenigen der übrigen nur teilweise — beobachtet werden konnten; die isolierte Darbietung der Randfelder war leider aus technischen Gründen nicht möglich. Im Spalt erschien also stets das ganze Beobachtungsfeld, d. h. sämtliche 5 flimmernde Felder nebeneinander. Beurteilt wurde jeweils das äußerste (mit 16 Unterbrechungen des Kreisringes).

Die Rotation der *Talbotschen* Scheibe erfolgte durch einen an den Licht-

strom angeschlossenen Elektromotor, dessen Geschwindigkeit durch Widerstände verändert werden konnte. Er war durch eine Transmission mit dem Triebad des Farbenkreisels verbunden. Das Verhältnis der Transmissionslänge zum Umfang des Triebades betrug 1 : 6, d. h. auf eine Umdrehung der Transmission fielen 6 Umdrehungen der Scheibe. An der Transmission war eine Marke angebracht; die Zeit für einen Umlauf wurde mit der Stoppuhr gemessen. Als Beispiel diene folgende Berechnung: Ein Umlauf der Transmission benötigte 3,2 Sekunden. Die Scheibe macht in dieser Zeit 6 Umdrehungen. In eine Sekunde dreht sich die Scheibe  $6 : 3,2 = 1,875$ mal. Es finden sich auf dem äußersten Kreis 16 Unterbrechungen. Daraus ergibt sich  $16 \times 1,875 = 30$ .

Jedes der 16 weißen Randfelder besaß eine Fläche von 2 : 2,2 cm (1,8 cm der innere Kreisbogen, 2,2 cm der äußere Kreisbogen, als Mittelwert 2 cm). Die Versuchsperson befand sich im Abstand von 1 m vor der Scheibe, es betrug bei Fixation des Randfeldes der Sehwinkel also 1,765 Grad.

Die Beobachtungen geschahen monokular. Es wurde jeweils 5—10 Sek. exponiert, da bei längerer Betrachtung infolge Lokaladaptation Helligkeitsverlust und damit Sinken der FIF möglich waren. Die Rotationsgeschwindigkeit wurde dabei anfangs etwas überschwellig gewählt und dann gesenkt, bis die Versuchsperson das Flimmern wahrnahm («Falling method» nach Riddell). Für jede VP wurden zunächst bei unbeeinflusster Pupillenweite Durchschnittswerte berechnet. Bei medikamentös dilaterter oder verengter Pupille wurde dann in gleicher Weise vorgegangen.

Zur Erweiterung der Pupille wurde 1% Homatropin verwendet. Eine Akkommodation ist wegen der Lähmung des Ciliarmuskels auch nicht mehr möglich. Da es sich bei diesen Untersuchungen um eine Prüfung des Lichtsinnes handelte, wurde aber eine Korrektur der Refraktion bzw. mangelhaften Akkommodation durch Vorschaltung von entsprechenden Gläsern — wie dies Werner bei seinen Versuchen vorgenommen hat — wegen der nicht genau meßbaren Abschwächung der Lichtintensität durch Reflexion an den brechenden Flächen der Brille und durch Absorption vermieden<sup>2</sup>.

Zur Verengung der Pupille wurde bei unseren Versuchen Pilocarpin in 2%iger Lösung verwendet.

Die Weite der unbeeinflussten Pupillen schwankte bei den Vp. zwischen 2 und 4 mm, diejenige der dilatierten Pupillen betrug 7—8 mm, bei einer etwas

<sup>2</sup> Werner hat seine Versuche in zwei Serien vorgenommen. In der ersten wurden die Flimmerfrequenzen für unbeeinflusste, dilatierte und verengte Pupille bei Helladaptation verglichen, in der zweiten Serie bei Hell- und bei Dunkeladaptation. Zur Erweiterung der Pupille hat er in der ersten Serie eine 4%ige Cocainlösung benutzt, wodurch zwar die Pupille in einem mittleren Grade dilatiert wurde, die Reaktion auf Licht und Konvergenz aber erhalten blieb. Die Differenzen der Flimmerwerte für normale und dilatierte Pupillen können daher aus zwei Gründen nicht sehr ausgeprägt sein: Einmal weil die Erweiterung der Pupille an sich nicht sehr stark war, dann aber auch, weil im Moment der Fixation des flimmernden Objektes eine gewisse Licht- (evtl. Konvergenz-) Reaktion der Pupille eintritt. Die Differenzen betragen bei den beiden Versuchspersonen von Werner wohl deshalb nur 4 und 5,6 Lichtreize pro Sek.

älteren Versuchsperson (E. S.) etwas weniger. Der Durchmesser der kontrahierten Pupillen schwankte zwischen 1—2 und 2—3 mm (s. Tabelle).

Obwohl die Sehschärfe die Flimmerfrequenzen nicht beeinflussen soll, wurde sie bei den einzelnen Vp. kontrolliert. Es zeigte sich mit 2 Ausnahmen (E. S. und M. M.) keine Sehschärfenherabsetzung.

Die Versuchsbedingungen wurden möglichst konstant gehalten: gleiche Jahreszeit, Witterung und Belichtung bei gleicher Tageszeit. Die Versuche wurden in einem nach Westen zu gelegenen Raum mit hellgrau gestrichenen Wänden vorgenommen. Die *Talbotsche* Scheibe war 1,70 m vom Fenster entfernt, so daß keine direkte Sonnenbeleuchtung sie traf. Mit einer Ausnahme standen die Vp. im Alter von 20—30 Jahren. Es handelte sich um 1 männliche (M. S.) und 9 weibliche Personen mit guter Intelligenz.

### Versuchsergebnisse

Flimmerfrequenzen pro Sek. bei normaler, dilatierter und verengerter Pupille<sup>3</sup>

| Versuchsperson      | Normale<br>Fl.-Fr. | Pupille<br>Weite | Dilatierte<br>Fl.-Fr. | Pupille<br>Weite | Verengerte<br>Fl.-Fr. | Pupille<br>Weite |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| 1. M. S., 20 J.     | 33,1               | 3—4 mm           | 41                    | 8—9 mm           | 28,5                  | 2—3 mm           |
| 2. E. S., 50 J.     | 28,8               | 3 mm             | 31,4                  | 6—7 mm           | 26,6                  | 1—2 mm           |
| 3. M. M., 21 J.     | 30                 | 4 mm             | 41                    | 7—8 mm           | 19,6                  | 1—2 mm           |
| 4. L. A., 26 J.     | 25                 | 2—3 mm           | 28                    | 6—7 mm           | 21,4                  | 2 mm             |
| 5. S. S., 30 J.     | 30,6               | 3 mm             | 36,6                  | 8 mm             | 27,9                  | 2 mm             |
| 6. L. E., 30 J.     | 26,7               | 3 mm             | 32                    | 7 mm             | 22                    | 1—2 mm           |
| 7. E. F., 27 J.     | 30,6               | 3—4 mm           | 41                    | 8 mm             | 20,2                  | 2 mm             |
| 8. R. V., 20 J.     | 31,3               | 3—4 mm           | 42,5                  | 8—9 mm           | 26,5                  | 2 mm             |
| 9. R. B., 25 J.     | 29,6               | 4 mm             | 37                    | 8—9 mm           | 23,8                  | 1—2 mm           |
| 10. H. V., 32 J.    | 30,3               | 3 mm             | 38,7                  | 8 mm             | 25,4                  | 2 mm             |
| Durchschnittswerte: | 29,6               |                  | 36,8                  |                  | 24,2                  |                  |

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß die FIF deutlich abhängig sind von der Pupillenweite, d. h. der durch die Pupille in das Auge einfallenden Lichtmenge. Sie steigen bei Mydriasis und sinken bei Miosis. Vergleicht man die einzelnen Werte mit den zugehörigen Pupillendurchmessern, so zeigt sich, daß bei unbeeinflusster Pupille diejenigen FIF höher sind, bei denen jene relativ weit ist. Bei den Werten für die erweiterten Pupillen sind bei den Vp. 2, 4 und 6 die Pupillen nicht sehr weit, die FIF zeigen wohl deshalb auch die niedrigsten Werte. Vp. 2 (E. S.) steht in einem höheren Alter, was die geringere Dilatation erklärt. Bei den kontrahierten Pupillen sind ebenfalls höhere Werte bei den relativ

<sup>3</sup> Die Werte gelten natürlich nur für die gegebenen Versuchsbedingungen, insbesondere für die benötigte Feldgröße.

weiteren Pupillen zu finden, die Unterschiede sind aber weniger ausgeprägt.

Die schon in der Einleitung erwähnten individuellen Differenzen lassen sich beim Vergleich der Flimmerwerte bei unbeeinflusster Pupille deutlich feststellen: Es besteht eine Streuung zwischen 25 und 33,1, also von 8,1 Lichtreizen pro Sek. *Werner* hat in seiner ersten Versuchsserie bei 4 verschiedenen Personen eine Streuung von 11,6 Lichtreizen pro Sek. festgestellt.

Die FIF bei dilatierter Pupille schwanken von 28 bis 42,5, der Unterschied beträgt also 14,5 Lichtreize pro Sek., bei *Werner* nur 2. Allerdings hat er in dieser ersten Versuchsserie für den Vergleich normale Pupille : dilatierter Pupille nur 2 Personen benutzt, und 2 weitere für den Vergleich normale Pupille : kontrahierter Pupille. Infolgedessen ergeben sich für die Werte bei normaler Pupille 4 Vergleichsmöglichkeiten, für die Werte bei dilatierter und verengerter Pupille nur je 2.

Die FIF bei kontrahierter Pupille zeigen auch bei unseren Versuchen ebenfalls Unterschiede: der niedrigste Wert beträgt 19,6, der höchste 28,5; es besteht also eine Streuung von 8,9 pro Sek. Bei den beiden Vp. *Werners* betrug sie 10,7.

Vp. E. S. ist etwas älter als die übrigen Personen, ihre Werte bei normaler und dilatierter Pupille sind etwas niedriger. Auch Vp. 4 (L. A.) hat ziemlich niedrige Werte bei durchwegs verhältnismäßig enger Pupille. Es handelt sich aber nicht um eine Vagotonica, im Gegensatz zu Vp. 6 (L. E.), die, mit gewissen vagotonischen Symptomen, ebenfalls niedrige Werte bei ziemlich engen Pupillen hatte.

Ein Unterschied in den Werten bei den Vp. mit nicht voller Sehschärfe, die mit Sicherheit hierauf zurückgeführt werden könnte, läßt sich nur insofern feststellen, als bei der älteren Versuchsperson 2 die Werte für normale und dilatierte Pupille etwas niedriger sind, was wohl eher auf das starrere Irisgewebe als auf die Visusveränderung selbst zurückgeführt werden muß (*Weekers* und *Roussel*). Vp. 3 (M. M.) ist myopisch (Visus korrigiert  $\frac{6}{4}$  auf beiden Augen), ihre Flimmerwerte bewegen sich aber innerhalb der auch bei den übrigen Vp. gefundenen Grenzen.

Da die Pupille als Kreis aufgefaßt werden kann, nimmt ihre Fläche mit dem Quadrat des Radius zu: Eine Pupille von 2 mm Durchmesser hätte eine Fläche von 3,14 qmm, eine Pupille von 3 mm Durchmesser eine solche von 7,065 qmm, eine Pupille von

8 mm Durchmesser eine Fläche von 50,24 qmm<sup>4</sup>. Wenn man als Ausgangswert die Lichtmenge annimmt, die in die unbeeinflusste Pupille einfällt, so muß die Zunahme der in die dilatierte Pupille einfallenden größer sein als die Abnahme derjenigen bei verengerter Pupille. Da die FIF von der Lichtintensität abhängig sind, sollten sie stärker zunehmen bei Mydriasis als abnehmen bei Miosis, wenn man von den FIF bei unbeeinflusster Pupille ausgeht. Bei den meisten Vp. läßt sich dies auch nachweisen. Immerhin sind Unterschiede von weniger als 3 Lichtreizen wohl nicht beweisend.

Eine erweiterte Pupille läßt mehr Licht auf die Netzhaut auf treffen, diese ist also verhältnismäßig stärker helladaptiert. Die FIF steigen aber auch mit steigender Helladaptation.

Werner hat versucht, den Einfluß des Adaptationszustandes auszuschalten, indem er an die erste Versuchsserie (Prüfung der FIF bei verschiedener Pupillenweite bei zentraler und exzentrischer Fixation am helladaptierten Auge) eine zweite Serie anschloß. In dieser zweiten Versuchsserie wurden die FIF auf dieselbe Art geprüft, aber bei Hell- und bei Dunkeladaptation, wobei als Mydriaticum Homatropin (in der ersten Serie Cocain) benützt wurde. Er versuchte damit die Frage zu klären, ob bei erweiterter Pupille die FIF ebenso stark zunehmen, wenn die Helladaptation nicht gleichzeitig mit ansteigt, mit andern Worten, ob die Erweiterung der Pupille allein ein gleich starkes Ansteigen der FIF bedingt. Auch bei dieser Versuchsserie wurde zentral und exzentrisch geprüft. Zum Vergleich mit den eigenen Resultaten werden hier nur die Werte bei zentraler Fixation herangezogen.

Zunächst zeigen sich in den Tabellen Werners überall höhere Werte als bei den eigenen Versuchen. Dies mag bedingt sein durch die anderen Versuchsbedingungen, insbesondere durch das größere Beobachtungsfeld (bei Werner 2°, bei uns 1,765°).

Weiter zeigt sich, daß bei ein und derselben Vp. die FIF bei normaler Pupille und Helladaptation erheblich schwanken können; es findet sich ein Unterschied bis zu 6,7 Lichtreizen pro Sek.

Die individuellen Unterschiede zwischen den Werten der einzelnen Versuchspersonen Werners bei normaler Pupille und Helladaptation sind ziemlich groß, der niedrigste Flimmerwert beträgt 42,3, der höchste 59, was eine Differenz von 16,7 ergibt (eigene

---

<sup>4</sup> Es handelt sich bei diesen Zahlen natürlich nur um die scheinbare Größe der Pupille, infolge der Abbildung durch die Hornhaut. (Sie erscheint bekanntlich zirka 10% größer als die wirkliche.)

Zahl 8,1). Bei der Dunkeladaptation sind bei *Werner* — wie dies zu erwarten ist — die Werte für die normale Pupille überall niedriger, der Unterschied zu denjenigen bei Helladaptation schwankt zwischen 17 und 1,3 Lichtreizen pro Sek.

Die größte Zunahme bei *Werners* Vergleich zwischen FIF bei normaler Pupille und Mydriasis beim Hellauge beträgt 4,6 Lichtreize pro Sek. (eigene Zahl 11,2). Bei der gleichen Prüfung bei Dunkeladaptation ist der Anstieg der FIF der normalen zu denjenigen der dilatierten Pupille überall geringer.

Der Unterschied der FIF bei normaler Pupille und Miosis bei Helladaptation schwankt zwischen einer Abnahme von 9,7 und einer solchen von 4,7 (eigene Zahlen 10,4 als höchste, 2,2 als niedrigste Abnahme). Bei derselben Prüfung am dunkeladaptierten Auge ist nach *Werner* die Abnahme der FIF bei Miosis viel geringer als bei Helladaptation. Der Unterschied gleicht sich also bei Dunkeladaptation zum Teil aus, und zwar stärker, als dies beim Unterschied zwischen helladaptiertem und dunkeladaptiertem Auge mit Mydriasis der Fall ist. *Werner* erklärt dies damit, daß bei dilatierter Pupille und Dunkeladaptation verhältnismäßig viel Licht auf den Augenhintergrund fällt, was sich analog einer Vergrößerung des Beobachtungsfeldes auswirke. Daher sinken bei Dunkeladaptation und Mydriasis die FIF im Vergleich zur Helladaptation weniger, weil eine zusätzliche Steigerung durch stärkere Helladaptation zu erwarten ist.

Nach den theoretischen Darlegungen in der Einleitung scheint es fraglich, ob der Vergleich zwischen den FIF bei unbeeinflusster, dilatierter und verengerter Pupille bei Helladaptation und bei Dunkeladaptation und die sich daraus ergebenden Unterschiede zu Schlüssen auf den Einfluß des bei weiter Pupille veränderten Helladaptationszustandes berechtigen. Wenn der Vergleich vielleicht auch zahlenmäßig ähnliche Werte ergibt, so heißt das noch nicht, daß diese Werte miteinander verglichen werden dürfen, da diejenigen bei Dunkeladaptation auf der Erregung eines andern Systems beruhen. Es besteht also nicht nur ein quantitativer Unterschied zwischen der Lichtperzeption bei Hell- und bei Dunkeladaptation. Aus diesem Grunde wurde bei den eigenen Versuchen auf die Prüfung der FIF bei Dunkeladaptation verzichtet. Außerdem aber ist es wohl schwierig, wenigstens bei der eigenen Versuchsanordnung eine vorher bewirkte Dunkeladaptation gleichmäßig aufrechtzuerhalten, denn auch eine geringe Be-

lichtung der Talbotschen Scheibe, bzw. eines ihrer Beobachtungsfelder würde sofort die Dunkeladaptation stören und daher keine eindeutigen Resultate ergeben.

Bei Miosis fällt weniger Licht in das Auge, die FIF sinken. Bei der engen Pupille, wo die einfallende Lichtmenge im Vergleich mit der unbeeinflussten weniger verändert ist, als dies bei erweiterter Pupille der Fall ist, kann die entsprechende Veränderung des Adaptationszustandes — verminderte Helladaptation — wohl kaum eine erhebliche zusätzliche Senkung der FIF verursachen, so daß die festgestellte Senkung vorwiegend als Folge der Miosis betrachtet werden darf.

Da bei den einzelnen Vp. eine deutliche Abhängigkeit der FIF von der jeweiligen Pupillenweite zu konstatieren ist, scheint eine direkte Beeinflussung der Lichtempfindlichkeit der Retina und damit der FIF durch das angewendete Pharmakon zum mindesten unwahrscheinlich.

Die Resultate der Versuche zeigen, daß eine Dilatation der Pupille bei gleicher Lichtintensität die FIF für das betreffende Auge steigert, eine Verengung bei gleicher Lichtintensität sie senkt. Die Mydriasis wirkt also wie eine Verstärkung der Lichtintensität, die Miosis wie eine Verminderung. Dies steht in Übereinstimmung mit Versuchen, die *Arbenz* an der Basler Augenklinik über den Verlauf von Blendungsnachbildern angestellt hat.

### *Zusammenfassung.*

Zur Untersuchung des Einflusses der Pupillenweite auf die Flimmerfrequenz bei zentraler Beobachtung wurden Versuche an 10 Personen mittels der Talbotschen Scheibe ausgeführt. Es ergab sich, daß die Erweiterung der Pupille wie eine Verstärkung, die Verengung wie eine Herabsetzung der Lichtintensität wirkt, d. h. eine Erhöhung bzw. eine Erniedrigung der Flimmerfrequenz festzustellen war. Anhaltspunkte dafür, daß die Lichtempfindlichkeit der Retina durch Miotica bzw. Mydriatica direkt beeinflußt werde, ergaben sich nicht.

### *Summary.*

Using *Talbot's* method experiments are described on 10 persons on the influence of the size of the pupil upon the flicker-frequency. It was proved that dilatation of the pupil acts as an increase, that miosis acts as a decrease of the light intensity; i.e.

increase and diminution of the flimmerfrequency. No evidence could be found that the retinal sensibility to light could be directly influenced by miotica or mydriatica.

### Résumé.

L'effet du disque de *Talbot* fut expérimenté sur 10 personnes pour rechercher l'influence de la dilatation pupillaire sur la fréquence du papillotement dans la fixation centrale. Il se trouve que la dilatation de la pupille agit comme une augmentation de l'intensité lumineuse et la contraction comme une diminution. C'est-à-dire que l'on peut constater une augmentation respectivement une diminution de la fréquence de papillotement. Par contre, rien n'indique que la sensibilité de la rétine à la lumière soit directement influencée par des miotiques ou des mydriatiques.

### Literatur.

*Adrian und Matthews*: Journal of Physiology 63, 1927; 64, 1927/28; 65, 1928, zitiert nach *Teräskeli und Granit*. — *Ajo, A., und Teräskeli, H.*: Acta ophthalmologica 15, 374, 1937. — *Arbenz*: Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. A. Brückner. — *Enroth, E., und S. Werner*: Acta ophthalmologica 14, 320, 1936. — *Granit, R.*: Acta ophthalmologica 1936, Suppl. 8. — *Granit und Mitarbeiter*: Journal of Physiology 77, 1933; 78, 1933; 81, 1934. American Journal of Physiology 94, 1930; 95, 1930; 98, 1931, zitiert nach *Teräskeli und Granit*. — *Hylkema, B. S.*: Acta ophthalmologica 20, 159, 1942; — *Lythgoe, J., und K. Tansley*: The Adaptation of the Eye, its Relation to the critical Frequency of Flicker. Medical Research Council, Special Report Series 134, London 1929. — *Phillips, G.*: Brain 56, 464, 1933. — *Riddell, L. A.*: Brit. Journal of Ophthalmology 20, 385, 1936. — *Teräskeli, H.*: Acta soc. med. fennicae «Duodecim», Ser. B, Tom. XIX, Nr. 5. — *Tschermak*: Licht- und Farbensinn, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Berlin 1929. — *Weekers, R., et F. Roussel*: Ophthalmologica 113, 215, 1947. — *Werner, S.*: Acta ophthalmologica 14, 28, 1936.